

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЗАКАЛКИ КРУПНЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Ощепкова Ю.В.

Руководитель – д.т.н., проф. Юдин Ю.В.

ФГАОУ ВПО УрФУ им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

Рассмотрена задача оптимизации режима термообработки крупногабаритного рабочего вала с диаметром бочки 600 мм из стали 9Х2МФ. Задача решалась методом математического моделирования с помощью универсальной программы UNIV [1].

Режим термообработки заключался в интенсивном градиентном нагреве бочки вала после объемного предварительного подогрева и последующего регулируемого охлаждения с постоянным коэффициентом теплопередачи. В ходе проведения полного факторного эксперимента по методике [2] построены 3-факторные линейные модели изменения твердости бочки, максимальных временных напряжений и глубины закаленного слоя с твердостью не менее 35 HRC.

Цель оптимизации - увеличить глубину закаленного слоя прокатного вала. Целевая функция для кодированных значений факторов

$$F = 41,26 + 11,22x_1 + 0,92x_2 + 5,85x_3, \quad (1)$$

где x_1 - время интенсивного нагрева, x_2 - температура предварительного подогрева, x_3 - коэффициент теплопередачи. Целевая функция должна принять максимальное значение при изменении кодированных значений факторов x_1, x_2 в интервале ± 2 . На рисунке 1 приведена 3-D диаграмма значения глубины закаленного слоя до твердости 35 HRC от величины времени нагрева и температуры предварительного подогрева

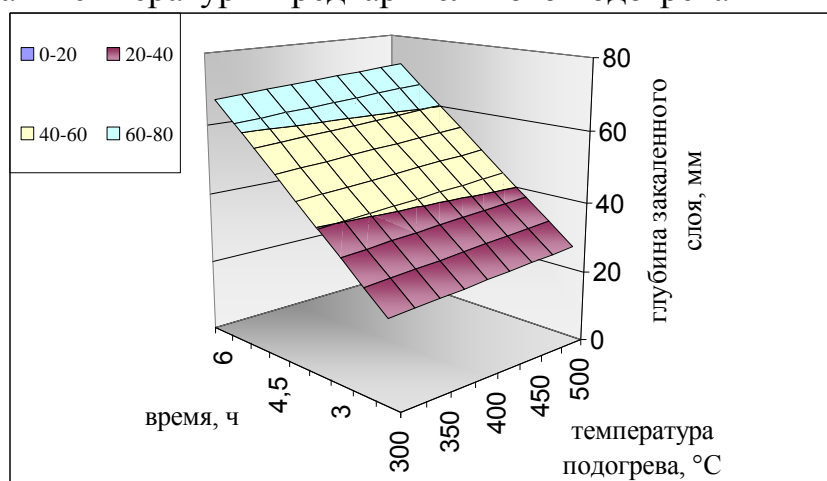


Рисунок 1. Изменение глубины закаленного слоя, для условий факторного эксперимента

Были введены ограничения по твердости и величине временных растягивающих напряжений: твердость поверхности бочки должна быть не менее 50 HRC, максимальные временные напряжения в процессе нагрева и закалки - не более 700 МПа:

$$\begin{cases} 53,74 - 1,46x_1 - 0,53x_2 + 2,24x_3 \geq 50, \\ 653,25 - 10,25x_1 + 22,75x_2 + 38,0x_3 \leq 700 \end{cases} \quad (2)$$

Решение задачи может быть найдено с использованием графического метода.

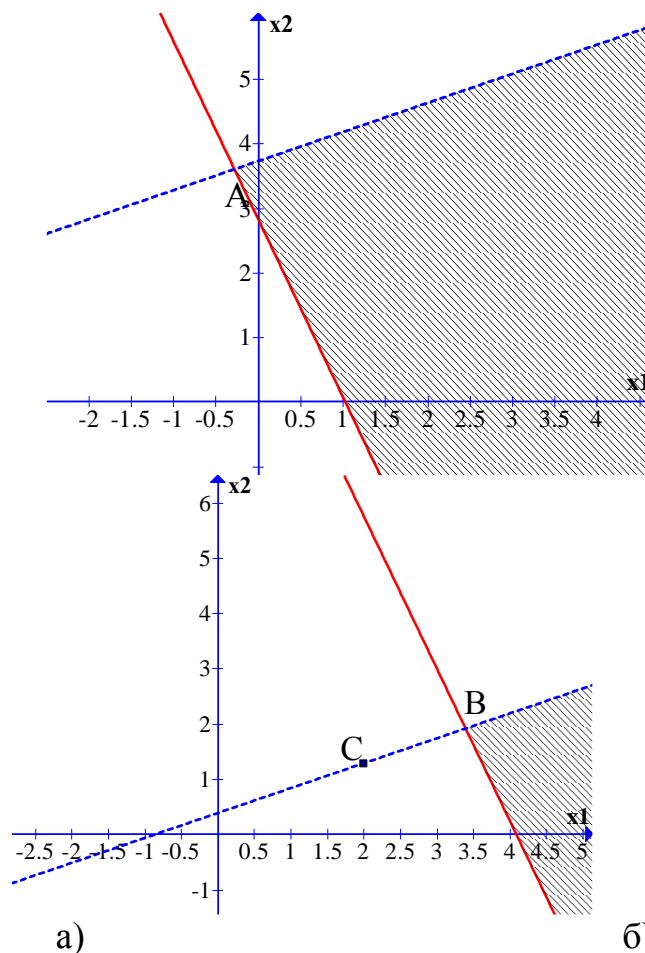


Рисунок 2. Определение области допустимых значений: *а* – при интенсивности охлаждения 900 Вт/(м²·К), *б* – при интенсивности охлаждения 1800 Вт/(м²·К)

Как видно из рисунка 2, условие ограничений выполняется в точке A(0,27;3,60) и B(3,40;1,91). В этих точках достигается глубина закаленного слоя: 47 мм в точке А и 87 мм в точке В. Принята наибольшая интенсивность охлаждения 1800 Вт/м²К.

Однако точка В выходит за границы возможного изменения факторов, а точка С (2;1,29) на рисунке 2.б удовлетворяет условию (2):

$$\begin{cases} 53,74 - 1,46 \cdot 2,0 - 0,53 \cdot 1,29 + 2,24 \cdot 1 = 52,38 \\ 653,3 - 10,25 \cdot 2,0 + 22,75 \cdot 1,29 + 38,0 \cdot 1,0 = 700 \end{cases} \quad (3)$$

При полученных параметрах: время нагрева 6 ч, температура предварительного подогрева 464 °С, коэффициент теплопередачи 1800 Вт/(м²·К), достигается глубина закаленного слоя 72 мм.

Этот же результат был получен при использовании симплексного метода [3].

Целевая функция $F(X) = 11.22x_1 + 0.92x_2$ при условии ограничений по коэффициенту теплопередачи ($x_3 = 1$).

Симплекс-метод позволил провести анализ оптимального плана. В оптимальный план вошла дополнительная переменная, указывающая, что при реализации такого плана твердость выше на 2,4 HRC от требуемой. Другие переменные, вошедшие в оптимальный план, показывают, где находятся искомые параметры относительно граничных условий.

Таким образом, методы математического программирования позволяют найти параметры оптимального режима окончательной термообработки прокатного валка при заданных ограничениях, либо устанавливают невозможность их выполнения, существенно сокращая затраты времени на проведение расчетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Адамова Н.А., Гасилова Е.Г., Дядюк В.Б. Универсальная программа расчета остаточных напряжений в цилиндрических телах при термообработке. //Остаточные напряжения и методы регулирования. Труды 1 Всесоюзного симпозиума по остаточным напряжениям. - М. 1982. - с.31-35
2. Адлер Ю.А., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.
3. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учеб. Пособие для студентов эконом. спец. вузов./ И.Л.Акулич. М.: Высш. шк., 1986. 319 с.